Die Evolution der Kunstkopfmikrophone für die binaurale Aufnahmetechnik

Martin Schneider[1]

[1] *Georg Neumann GmbH, 10117 Berlin, E-Mail:martin.schneider@neumann.com*

Einleitung

Kunstkopfmikrophone mit Nachbildungen eines menschlichen Kopfes existieren seit dem Beginn der modernen Aufnahmetechnik. Aus der umfangreichen Literatur sei auf eine kleine Auswahl verwiesen: Eine ausführliche Beschreibung der Historie der binauralen Mikrophone findet sich in [1], eine ausführliche Beschreibung der Entstehung insbesondere der Berliner und Göttinger/Oldenburger bis in die 1980er Jahre in [2]. Eine Bestandsaufnahme der Kunstkopftechnik anhand einiger aktueller Modelle in [3], eine grundlegende Einführung in die Binauraltechnik in [4].

Kunstköpfe wurden für vielfältige Anwendungszwecke realisiert. Im Weiteren wird eine spezielle Linie von Kunstköpfen, die „Berliner Kunstköpfe“ [2], betrachtet, die bevorzugt für Aufnahmen eingesetzt werden. Dem Autor standen, außer den ersten Versuchsmustern alle erwähnten Versionen zur Verfügung und konnten somit neu gemessen werden. Von den umfassenden, vorhandenen Entwicklungsunterlagen der Modelle KU 80, KU 81 und KU 100 kann hier nur ein geringer Teil Erwähnung finden.

Erste Generation

Heinrich-Hertz-Institut (Kürer, Plenge, Wilkens) und Neumann (Boré, Jörn)

Die Intention der erste Generation der „Berliner Kunstköpfe“ war die Untersuchungen der Raumakustik von Konzertsälen [5,6]. Dazu wurden naturgetreue Nachbildungen des menschlichen Kopf, inklusive Haaren und einer stark vereinfachten Torso-Nachbildung erstellt. Kopf und Ohren der Versuchsleiter wurden abgeformt. Die ersten Köpfe wurden naturgetreu aus Gips hergestellt; im Weiteren wurde eine stilisierte Kopfform genutzt.

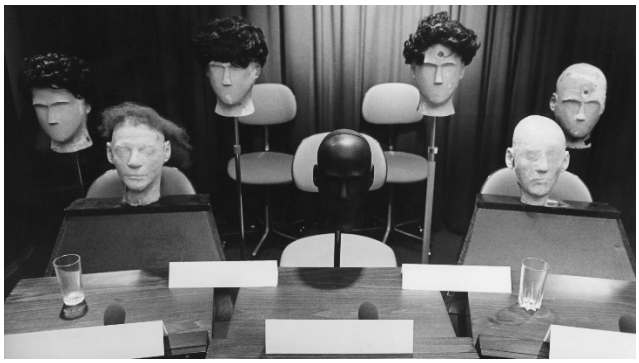


Abbildung 1: „Konferenz der Köpfe“: 1. naturgetreue Versuchsmuster (Gips, v.l. und v.r.), 2. Stilisierte Köpfe (Gips, hinten), 3. Serienmodell (v. mitte) © Wilkens

Die ersten 12 Köpfe (1971) wurden weiterhin aus Gips geformt, bevor für die Serienfertigung (KU 80, 1973-1981) Spritzformen zum Einsatz kamen. Von den Gipsköpfen ist dem Autor kein noch existierendes Exemplar bekannt [2].

Abbildung 2: Liste der ersten Modelle (1971-1972) und ihrer Adressaten.

Die akustische Impedanz von Ohr und Trommelfell sollte nachgebildet werden. Dazu wurde ein entsprechend langer Ohrkanal mit einer akustischen Impedanz abgeschlossen, die aus zwei Elektroden einer Kondensatorkapsel gebildet wurde.

Abbildung 3: v.l.n.r.: Ohr und Ohrkanal-Nachbildung des KU 80, akustisches Dämpfungsglied, Kapsel

Dahinter befanden sich modifizierte, phantomgespeiste Studio-Kondensatormikrophone (KM 83) mit diffusfeldentzerrten Druckempfänger-Kapseln (KK 83). Diese Kapseln besitzen im nicht eingebauten Zustand einen Freifeld-Frequenzgang mit einer Höhenanhebung in der Größenordnung von 6 dB bei 10 kHz. Der resultierende Frequenzgang des Kunstkopfs wurde nicht elektrisch entzerrt. Im eingebauten Zustand führt dies zu einem relevanten Höhenabfall. Dies wird insbesondere im aktuell gemessenen Diffusfeld-Frequenzgang deutlich. Die Mikrophone haben einen für damalige Verhältnisse geringen Ersatzgeräuschpegel von 18 dB (A) SPL.

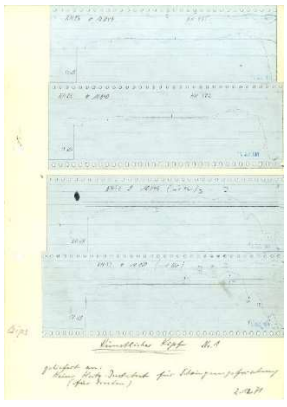


Abbildung 4: Freifeld-Frequenzgänge der einzelnen Mikrophone KM 83 (oben) und im Kunstkopf (unten).

Das Modell KU 80 stieß u.a. auf viel Interesse bei den Rundfunkanstalten und dort besonders in den Hörspielredaktionen. Bis in die 1980er Jahre wurde eine relevante Anzahl an Hörspielen in Kunstkopf-Stereophonie gesendet. Zu dieser Zeit waren schon offene Kopfhörer erhältlich (z.B. Sennheiser HD 414), das angestrebte Ziel für Kopfhörer allerdings noch die Freifeldentzerrung (s. IEC 60268-7). Negativ bemerkt wurde der stark abfallende Höhenfrequenzgang, der insbesondere bei Lautsprecherwiedergabe zu einem dumpfen Klangbild führte.

Neue Ohren

IKA der Ruhr-Universität Bochum (Hudde, Schröter, Blauert, Els, …)

Zur Verbesserung des Kunstkopfs beauftragte das Institut für Rundfunktechnik (IRT) das IKA der Ruhr-Universität Bochum damit, in Hörversuchen ein neues, optimales Ohrenpaar zu bestimmen, wobei die Ohren eines Institutsmitarbeiters als am geeignetsten evaluiert wurden.

Abbildung 5: Ohrabformungen des IKA der RU Bochum.

Als Kopf wurde die Form des KU 80 verwendet, mit zwei Sennheiser Miniatur-Elektretmikrophonen ausgestattet. Auf eine Nachbildung des Torsos wurde im Weiteren verzichtet.

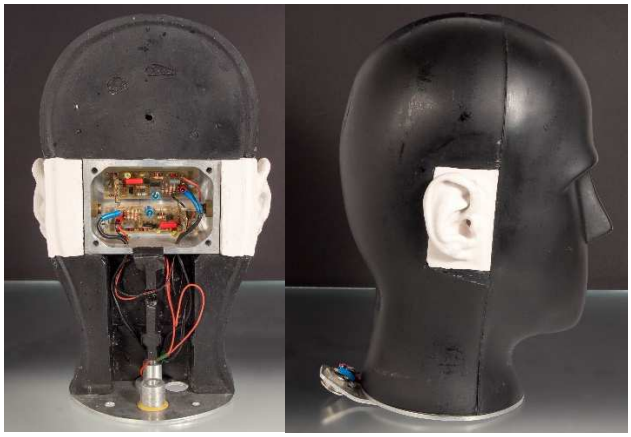


Abbildung 6: Kunstkopf des IKA der RU Bochum.

Auch auf die exakte Impedanznachbildung wurde verzichtet [7], der Ohrkanal verkürzt. Freifeldentzerrung und Speisung wurden in ein separates Gerät ausgelagert.

Für Aufnahmezwecke macht sich der höhere Ersatzgeräuschpegel der Miniatur-Elektretmikrophone negativ bemerkbar. Der Verzicht auf eine Ohrkanalnachbildung entspricht hingegen der bevorzugten Wiedergabe über Kopfhörer, bei denen der eigene Ohrkanal seinen Einfluss ausübt.

Abbildung 7: Externe Speise- und Filtereinheit des IKA.

Diffusfeld-Entzerrung

IRT (Wollherr, Theile, …)

Die am IKA ermittelten Ohren wurden nun vom IRT weiterverwendet, um weitere Verbesserungen durchzuführen. Bei Hauptmikrophonen für die Aufnahme von ausgedehnten Quellen ist insbesondere ein ausgeglichener Diffusfeld-Frequenzgang von Interesse [9-12]. Es ist naheliegend, den Frequenzgang eines Kunstkopfes ebenso zu entzerren, da er bevorzugt zur Aufnahme räumlich verteilter Quellen bzw. zur bewussten Aufnahme der Raumakustik eingesetzt wird.

Der Frequenzgang wurde durch akustische Mittel beeinflusst, durch Ankopplung von Helmholtzresonatoren und Dämpfungsgliedern. Die Feinabstimmung wurde durch elektrische Filter realisiert.

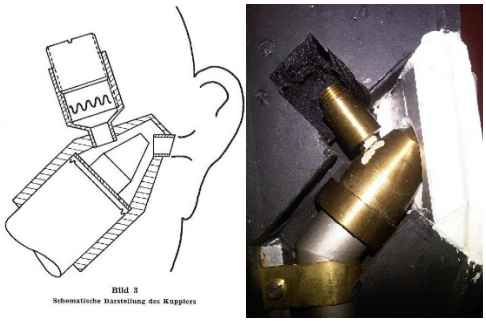


Abbildung 8: Akustische Diffusfeld-Entzerrung des KU IRT mittels Resonatoren und Dämpfungsgliedern

Als Kopfform wurde weiterhin der KU 80 verwendet, mit Modifikation des Innenraums. Zum Erhalt der geringen Rauschwerte wurden wiederum modifizierte Studio-Mikrophone des Typs KM 83 eingesetzt. Die kompakte Realisierung ohne externe Zusatzgeräte entspricht dem Anwendungszweck als portables Aufnahmemikrophon.

Abbildung 9: Kunstkopf-Prototyp des IRT.

Zweite Generation

Neumann (Peus, Nehring, …)

Die Erkenntnisse von IKA und IRT wurden nun in die zweite Generation des Serienmodells eingearbeitet (KU 81, 1982-1991) [14]. Die Ohrmodelle des IKA wurden in den leicht veränderten Innenraum des Kunstkopfs eingepasst. Der Ohrwinkel wurde im Vergleich zum Vor-Modell an die Verhältnisse beim realen Kopf angepasst. Die Diffusfeld-Entzerrung wurde wie bei den Prototypen des IRT zweistufig realisiert, d.h. akustisch und elektrisch. Die akustische Entzerrung wurde fertigungstechnisch optimiert, die finale elektrische Entzerrung mit einem linearen Filter implementiert.

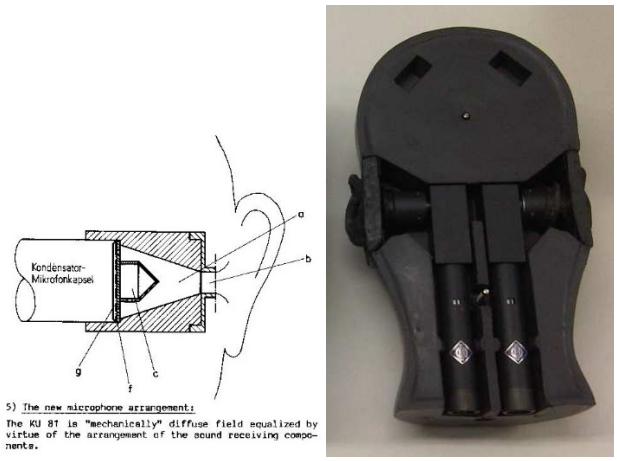


Abbildung 20: Akustische Diffusfeld-Entzerrung und Innenansicht des KU 81.

Die Diffusfeld-Entzerrung zeigt einen annähernd geraden Verlauf. Trotz der Verbesserungen, die der KU 81 brachte, ging die Faszination der Binauraltechnik und damit das Interesse an der Kunstkopf-Stereophonie für Aufnahmezwecke im Laufe der 1980er Jahre zurück, unter anderem im Rundfunkbereich. Zeitgleich verbreitete sich die Anwendung im messtechnischen Bereich.

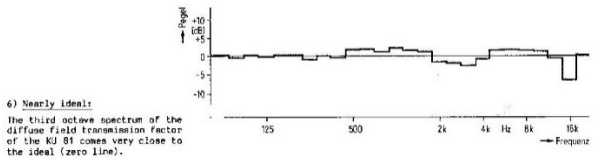


Abbildung 31: Diffusfeld-Frequenzgang des KU 81 [14].

Dritte Generation

Neumann (Peus, Müller, Nehring)

Dennoch wurde Anfang der 1990er Jahre eine dritte Generation für die Serienfertigung realisiert (KU 100, 1992-dato) [15]. Hierbei wurden sowohl die akustische wie auch die elektrische Entzerrung vollständig überarbeitet und in einer neuen stilisierten Kopfform eingesetzt. Die Ohren wurden einfach austauschbar gestaltet, da diese als exponiertes Teil am ehesten beschädigt werden können.

Abbildung 42: Ansichten des KU 100.

Auf akustische Resonatoren wurde weitgehend verzichtet und die notwendige Diffusfeld-Entzerrung mit mehrstufiger Elektronik durchgeführt. Als Wandler werden weiterhin die bewährten Studio-Kondensatorkapseln KK 83 eingesetzt. Die neue Schaltung wurde rauschärmer und mit transformatorlosem Ausgang realisiert, so dass der Dynamikbereich insbesondere zu hohen Pegeln um über 15 dB erweitert wurde. Der erzielte Diffusfeld-Frequenzgang kann als linear bezeichnet werden, auf eine weitergehende, übermäßige Filterung wurde verzichtet.

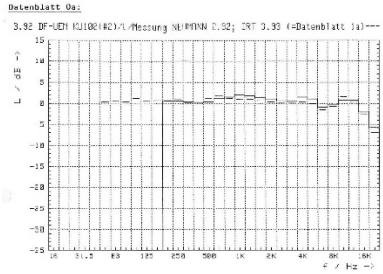


Abbildung 53: Diffusfeld-Frequenzgang des KU 100.

Status und Ausblick

Während die 1990er Jahre als sehr „ruhig“ bezeichnet werden können, steigt insbesondere seit den 2010er Jahren das Interesse an der Binauraltechnik für Aufnahmezwecke sehr stark an. Hierbei scheint sich die ausschließliche Ausrichtung auf die Anwendung als Aufnahmemikrophon zu bewähren. Zudem ist durch die langjährige, unveränderte Verfügbarkeit ein Status als „stabile Referenz“ erzielt worden. Die Außenohrübertragungsfunktionen des KU 100 sind von vielen Institutionen gemessen und publiziert worden und werden zur Binauralisierung eingesetzt, so dass bei vielen Produktionen wenn nicht ein realer Kunstkopf, so doch ein virtueller Kunstkopf Verwendung findet.

Abschließend sei den vielen Personen gedankt, die im Zusammenspiel mehrerer Institutionen zu der hier beschriebenen Evolution der Kunstkopf-Mikrophone beigetagen haben.

Literatur

[1] Paul, S.: Binaural Recording Technology: A Historical Review and Possible Future Developments. *Acta Acustica united with Acustica* 95 (2009), 767-788, DOI 10.3813/AAA.918208.

[2] Brech, M.: Der hörbare Raum. transcript Verlag, Bielefeld, 2015.

[3] Fedtke, T. (Hrsg.): Kunstkopftechnik – Eine Bestandsaufnahme. Nuntius Acusticus in Acta Acustica/Acustica 93 (2007), 1.

[4] Møller, H.: Fundamentals of binaural technology. Appl. Acoustics 36 (1992), 171-218

[5] Kürer, R., Plenge, G., Wilkens, H.: Correct Spatial Sound Perception Rendered by a Special 2-Channel Recording Method. Proc. of the 37th AES Conv. (1969), Paper 666

[6] Wilkens, H.: Kopfbezügliche Stereophonie - ein Hilfsmittel für Vergleich und Beurteilung verschiedener Raumeindrücke (Head related stereophony - an aid for the comparison and critical examination of different room effects). Acustica 26 (1972), 213–221.

[7] Hudde, H.: Equalization of Artificial Heads without exact replication of eardrum impedance. ACUSTICA 44 (1980)

[8] Hudde, H., Schröter, J.: Verbesserungen am Neumann Kunstkopfsystem. Rundfunktechnische Mitteilungen 25 (1981), 1–6.

[9] Großkopf, H.: Neue Kondensatormikrofone für Rundfunk-Studios. FTZ (1951) 398-402

[10] Theile, G.: Zur Kompatibilität von Kunstkopfsignalen mit intensitätsstereofonen Signal bei Lautsprecherwiedergabe: Die Klangfarbe. RTM 25 (1981)

[11] Theile, G.: Zur Kompatibilität von Kunstkopfsignalen mit intensitätsstereofonen Signal bei Lautsprecherwiedergabe: Die Richtungsabbildung. RTM 25 (1981), 67-73

[12] Theile, G.: Die Bedeutung der Diffusfeldentzerrung für die stereofone Aufnahme und Wiedergabe. Tagungsband Tonmeistertagung (1984).

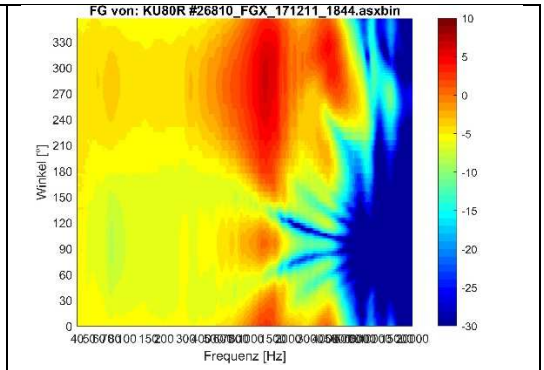
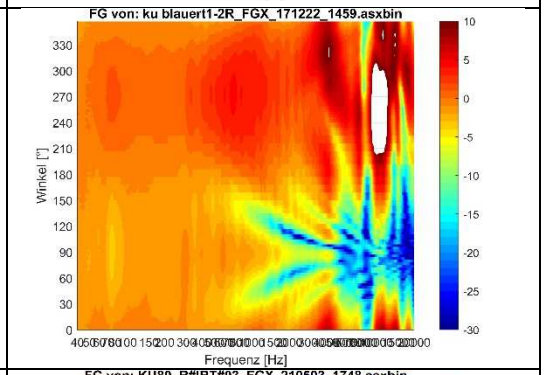
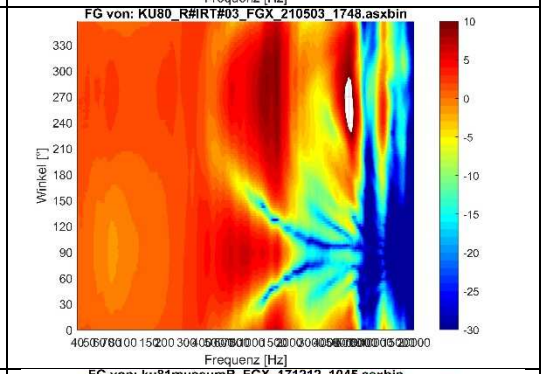
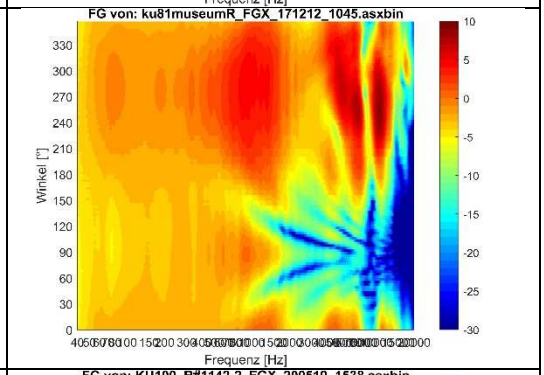
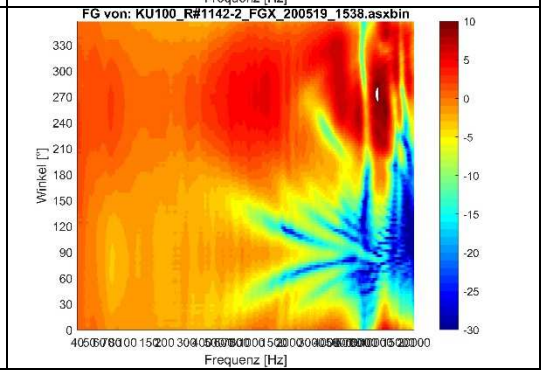
[13] Wollherr, H.: Mikrofonankopplung an das Außenohr eines neuen Kunstkopfs. RTM (1981) 141-145

[14] Peus S.: Natural listening with the dummy head. Tech. Rept. Georg Neumann GmbH (1985).

[15]: o.N.: Der Kunstkopf - Theorie und Praxis. Artikelsammlung (1992) URL: `https://de-de.neumann.com/product_files/7472/download`

Anhang - Messungen

Freifeldmessungen in der Horizontalebene (3°-Schritte)

KU 80	
KU IKA	
KU IRT	
KU 81	
KU 100